

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.





①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 196 39 615 A 1**

⑳ Aktenzeichen: 196 39 615.8  
㉑ Anmeldetag: 26. 9. 96  
㉒ Offenlegungstag: 9. 4. 98

㉓ Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**A 61 B 19/00**  
A 61 B 17/00  
A 61 B 5/055  
A 61 B 6/00  
A 61 B 8/00  
G 05 D 3/20  
G 01 N 29/00  
G 01 C 21/00  
G 02 B 21/32

DE 196 39 615 A 1

㉔ Anmelder:  
BrainLAB Med. Computersysteme GmbH, 85551  
Kirchheim, Heimstetten, DE

㉕ Vertreter:  
Schwabe, Sandmair, Marx, 81677 München

㉖ Erfinder:  
Vilsmeier, Stefan, 85586 Poing, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

㉗ Neuronavigationssystem

㉘ Die Erfindung betrifft ein Neuronavigationssystem mit einem Reflektorenreferenzierungssystem mit passiven Reflektoren und einem Markersystem mit Landmarken, bei dem die Reflektoren sowie die Marker bezüglich ihrer Form, Größe und Materialauswahl sowie ihrer Anordnung bzw. Anbringung an zu behandelnden Körperteilen und chirurgischen Instrumenten so ausgestaltet sind, daß ihre Lokalisation durch eine Rechner-/Kameraeinheit mit einer Grafik-Bildschirmausgabe sowie die Behandlung unter Zuhilfenahme dieser Einheit wesentlich erleichtert wird bzw. positionsgenauer stattfinden kann. Optional können ein chirurgisches Mikroskop, ein Ultraschall-Diagnosesystem sowie ein Kalibrierungsverfahren in das erfindungsgemäße Neuronavigationssystem integriert werden.

DE 196 39 615 A 1

jeden Adapter ein charakteristisches Reflexionsbild entsteht. Der große Vorteil dieser Ausgestaltung liegt darin, daß eine solche Reflektorengruppe mit ihrem Adapter über ihren Befestigungsfuß an praktisch jedem chirurgischen Instrument befestigt werden kann. Dies eröffnet für einen Chirurgen die Möglichkeit, seine gewohnten Instrumente weiter zu verwenden, d. h. in das Neuronavigationssystem einzubinden. Erforderlich wird hier lediglich eine kurze Kalibrierung an einem Referenzadapter, der später noch beschrieben wird, um den System die Stellung der Spitze des chirurgischen Instruments mitzuteilen. Auch durch dieses Adaptersystem wird die Sterilisierung der Instrumente in der vorher schon diskutierten Weise vereinfacht. Das System stellt eine ausreichende Anzahl von Adaptern mit charakteristischen Reflektorengruppen zur Verfügung, so daß alle notwendigen Instrumente mit dem Neuronavigationssystem zum Einsatz gebracht werden können.

Der oben erwähnte Referenzadapter wird gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zur Verfügung gestellt. Er umfaßt ebenfalls einen Befestigungsfuß, der drei in besonderer charakteristischer Anordnung befestigbare Reflektoren am Ende dreier Arme aufweist, wobei der Fuß an seinem Ende mit einer sich an die jeweilige Befestigungsstelle flexibel anpassenden Klammer Vorrichtung versehen ist.

Dieser Referenzadapter hat insbesondere zwei Funktionen. Zum einen kann er an einem fest mit dem Operationstisch verbundenen Punkt, beispielsweise an der Haltevorrichtung für die zu behandelnde Körperpartie befestigt werden. Dadurch und wegen der Tatsache, daß die Rechneinheit nur diesem Referenzadapter sein charakteristisches Bild zuordnet, wird dafür Vorsorge getroffen, daß eine positionsgenaue Referenzierung aller Patienten anatomischen Daten sowie eines gegenüber dem Patienten festen Reflexionsmuster auch dann noch möglich ist, wenn es während einer Operation notwendig wird, den Operationstisch zu verschieben, zu kippen, oder wenn versehentliche Stellungswechsel durch ein Anstoßen erfolgen. Die Reflexion des Referenzadapters meldet die Lage des fest mit dem Patienten verbundenen Systemteils jederzeit an die Rechneinheit, so daß wegen solcher Verschiebungen keine Ungenauigkeiten und kein Zusammenbruch der Navigation auftreten kann.

Die Klammer am Befestigungsfuß des Referenzadapters kann verschiedenartig ausgestaltet werden. So ist sie zum Beispiel zur Anbringung an einer Haltevorrichtung mit einer Schraubklemme ausgebildet, während in dem Fall, daß die Anbringung an einem Knochenstück erfolgt, weiche und stellungsmäßig flexible Klemmenenden zum Einsatz kommen, welche das Knochengewebe nicht schädigen. Letztere Möglichkeit kommt insbesondere bei Eingriffen im spinalen Bereich zum Tragen, wo der Referenzadapter beispielsweise an Wirbelfortsätzen befestigt wird.

Gemäß einer Ausgestaltung des Referenzadapters weist dieser vorzugsweise am Ausgangspunkt der drei Arme eine konisch zusammenlaufende Trichtermulde mit einem zentralen Kalibrierungspunkt für die Spitzen der chirurgischen Instrumente auf. Hier kommt die zweite Funktion des Referenzadapters zum Tragen. Wie schon im vorhergehenden erläutert, bezeichnet der Referenzadapter im Navigationssystem einen gegenüber dem Patienten ortsfesten Punkt. Diese Eigenschaft kann dadurch ausgenutzt werden, daß dem Referenzadapter gleichzeitig ein Kalibrierungspunkt zugeordnet

wird, mit dessen Hilfe die Spitzenpositionen chirurgischer Instrumente bestimmt werden können. Wie im weiteren erläutert wird, kann mit Hilfe dieses Kalibrierungspunktes auch die Raumstellung anderer Apparaturen bestimmt werden.

Chirurgische Instrumente, insbesondere Instrumente, mit denen der Chirurg seit langer Zeit arbeitet, können wie vorher beschrieben, mit einem Drei-Reflektoren-Adapter bestückt werden, der dann ein für dieses Instrument charakteristisches Reflexionsbild abgibt. Hierzu muß allerdings dem Navigationssystem noch mitgeteilt werden, wo sich die Spitze dieses Instruments befindet. Hierzu wird der Kalibrierungspunkt am Referenzadapter verwendet. Der Chirurg bringt die Spitze seines Instruments an den ortsbekannten Kalibrierungspunkt. Dies wird durch die Trichterform der konisch ausgestalteten Mulde, die an diesem Punkt zusammenläuft, erleichtert, auch wird die Spitze so festgestellt, daß sie völlig ruhig liegt. Danach führt der Chirurg einige Raumbewegungen mit dem Ende des chirurgischen Instruments durch, an dem sich der Drei-Reflektoren-Adapter befindet. Bei dieser Bewegung läuft, da die Spitze des Instruments stillsteht, jeder Reflektor auf einer Strecke, die in einer Kugelfläche mit dem senkrechten Abstand des Reflektors zum Trichtermittelpunkt liegt. Die Rechneinheit des Navigationssystems kann diese spezielle Bewegung identifizieren und "weiß", daß mit diesem Drei-Reflektoren-Adapter gerade eine Spitzenkalibrierung vorgenommen wird. Sie errechnet den Abstand der Spitze zu den jeweiligen Reflektoren und damit die Spitzenposition des chirurgischen Instruments und ordnet diese dem charakteristischen Reflektorenmuster der drei am Instrument angebrachten Reflektoren zu. Das Instrument ist damit kalibriert und eindeutig identifiziert; es kann während der gesamten Operation zum Einsatz kommen.

Das Markersystem zur Referenzierung und Positionsbestimmung von neurochirurgisch zu behandelnden Körperpartien umfaßt mindestens drei künstliche Landmarken und ebenso viele Befestigungsvorrichtungen zur Befestigung der Landmarken am Patienten. Erfindungsgemäß gibt jede einzelne Landmarke ein sowohl bei einer diagnostischen Patientendatenerfassung als auch bei einer nachfolgenden Behandlungsüberwachung nur für sich selbst charakteristisches Bild ab.

Gegenüber dem Stand der Technik, der wie schon vorher erwähnt, mit untereinander gleichen, beispielsweise mit Pflastern aufgeklebten Landmarken arbeitet, zeigt das erfindungsgemäße Markersystem folgende Vorteile:

Die Landmarken können einzeln identifiziert werden, und dies sowohl während der Computertomographie als auch durch das Neuronavigationssystem während der Operation. Die individuell bestimmten und erfaßten Landmarken werden nur einer Position im Raumkoordinatensystem zugeordnet. Es besteht nicht die Möglichkeit, daß die Landmarken bei der Erfassung durch das Neuronavigationssystem über die Kamera verwechselt werden.

Durch diese Ausgestaltung entfällt bei der Patientenreferenzierung der vorher beim Stand der Technik als negativ befundene langwierige erste Referenzierungsschritt für die Landmarken. Der Chirurg muß zwar immer noch mindestens drei Landmarken einzeln anfahren. Es entfällt jedoch die Tätigkeit der jeweiligen manuellen Positionszuordnung für diese Landmarke, da das Neuronavigationssystem die Reflexion der angefahrenen Landmarke erkennt und ihre Position nur derjeni-

gen bei der Computertomographie erfaßten Landmarke zugeordnet, die dasselbe charakteristische Bild abgibt. Damit kann die gesamte Zeit für die Landmarkenzuordnung eingespart werden. Da die Raumanordnung der Landmarken zueinander ebenfalls ein charakteristisches Bild im Neuronavigationssystem abgibt, genügt meist das Anfahren von drei Landmarken mit einem Positionszeigergerät, dessen Spitzenposition dem System beispielsweise über eine vorgenannte Reflektorenanordnung bekannt ist, um eine ausreichend genaue Referenzierung der Patienten anatomiedaten durchzuführen. Das erfindungsgemäße Markersystem erlaubt demnach vorteilhafterweise eine sehr viel schnellere und genauere Positionsbestimmung und Referenzierung von neurochirurgisch zu behandelnden Körperteilen.

Die vorher beschriebenen Landmarken können aus Metallkörpern bestehen, die aufgrund spezifischer Materialdichte, Größe, Form und Anordnung zueinander bei der Datenerfassung in einem Computertomograph sowie bei der Positionserkennung mit Infrarotkameras individuell unterscheidbar sind. Vorzugsweise bestehen sie aus von ihren Befestigungsvorrichtungen abnehmbaren Aluminiumkörpern, die eine spezifische Form oder Größe aufweisen. Solche Aluminiumkörper sind einfach herstellbar und aufgrund ihres metallischen Charakters gut erfaßbar. Auch sind sie relativ leicht und lösen somit nicht schon durch ihr Eigengewicht die Befestigungsvorrichtungen, an denen sie abnehmbar befestigt sind, vom Patienten. Die Zweiteiligkeit der Landmarken spielt ebenfalls eine besondere Rolle. Die Befestigungsvorrichtungen, welche an ihrem Unterteil mit einem Haftmittel beispielsweise an der Haut des Patienten befestigt werden, können etwas erhaben, beispielsweise als Sockel ausgebildet werden. Auf diese Sockel kann mittels einer Steckverbindung oder einem andersartigen Schnellverschluß die jeweilige Landmarke befestigt werden. Damit besteht grundsätzlich die Möglichkeit, die Landmarken zur Durchführung besonderer Einstellungsvorgänge auszutauschen. Weiterhin hebt sich der gesamte Marker mit Befestigungssockel und aufgesetzter Landmarke soweit von der Patienten anatomie ab, daß er auch nach einer Abdeckung durch sterilisierende Tücher noch einfach lokalisiert werden kann.

Das erfindungsgemäße Markersystem wird bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform dadurch ergänzt, daß es einen zusätzlichen Satz trichterförmiger Landmarken umfaßt, deren Trichtermittelpunkt dem Mittelpunkt der Landmarken entspricht, für die sie vor einer Referenzierung am Operationstisch ausgetauscht werden können.

Durch eine solche Ergänzung des Markersystems läßt sich die Genauigkeit der Positionsbestimmung und Referenzierung der Patienten anatomie in starkem Umfang erhöhen. Die bei der Computertomographie verwendeten Landmarken werden nach der Computertomographie von den Befestigungsvorrichtungen am Patienten abgenommen und durch Landmarken ersetzt, die eine Einrichtung wie einen spitz zulaufenden Innentrichter aufweisen. Durch einen solchen Innentrichter, dessen Mittel- bzw. Ausgangspunkt genau im Zentrum der Landmarke positioniert ist, läßt sich die Spitze eines chirurgischen Instruments unverschieblich und positionsgenau bei einer Referenzierung ansetzen.

Falls beispielsweise die Landmarke, die bei der Computertomographie verwendet wird, eine Kugel mit einem bestimmten Durchmesser war, kann diese nach der Computertomographie durch z. B. eine Dreiviertel-Kugel mit gleichem Durchmesser ersetzt werden, die an

ihrem oberen Abschnitt einen Trichter aufweist, welcher genau im Mittelpunkt der Kugel zusammenläuft. Die Dreiviertel-Kugel ist aufgrund ihres übereinstimmenden Durchmessers noch immer als dieselbe Landmarke identifizierbar, wie die vollständige Kugel, die durch sie ersetzt wurde.

Der Chirurg kann nun, bei dem vorher beschriebenen Schritt der Landmarkenerkennung mit einem Positionszeiger aufgrund der Trichterausbildung genau den Mittelpunkt der Landmarke anfahren. Hierdurch lassen sich Ungenauigkeiten beim Anfahren dieses Punktes, wie sie beim System gemäß dem Stand der Technik entstehen können, dessen Landmarken keine ausgezeichneten Stellen aufweisen, sehr gut vermeiden, die Referenzierung und Positionsbestimmung des Landmarkenmittelpunktes wird mit hervorragender Genauigkeit durchgeführt. Auch bei diesem Referenzierungsverfahren kann wie beim oben erläuterten Kalibrierungsverfahren mittels des Kalibrierungspunktes des Referenzadapters, die Spitze des Positionszeigers an einer Stelle festgehalten werden, während dessen Ende bewegt wird. Beim Referenzieren der jeweiligen Landmarke wird also der Rechereinheit durch das Stillstehen der Spitze während der Bewegung des Positionszeigers mitgeteilt, daß momentan eine Landmarken-Referenzierung stattfindet.

Weiterhin vorteilhaft wirkt sich die "Trichtergestaltung" in dem Moment aus, wenn die Landmarken während einer Operation aus irgendeinem Grund nachreferenziert werden müssen. Sollte der Patient nämlich schon durch sterile Tücher abgedeckt worden sein und befinden sich die Landmarken unter diesen Tüchern, so sind sie aufgrund ihrer erhabenen Struktur noch gut identifizierbar. Wegen der ausgebildeten Trichterform und weil die Sterilisationstücher eine geringe Dicke aufweisen, können die Mittelpunkt der Landmarken nunmehr auch dann sehr positionsgenau angefahren werden, wenn die Landmarken schon mit Tüchern abgedeckt sind. Der Patient muß, falls die Referenzierung einmal wiederholt werden muß, nicht erst von den Tüchern befreit und nach der Referenzierung wieder abgedeckt werden, was in der Praxis nie möglich ist.

Die Erfindung umfaßt weiterhin ein Kalibrierungsverfahren zur Bestimmung der Winkel- und Abstandsstellung von Referenzierungskameras, bei dem ein Kalibrierungswerkzeug mit zwei an vorbestimmten Positionen mit bekanntem Abstand angebrachten Reflektoren in den Aufnahmebereich beider Kameras eingebracht wird, das Kalibrierungswerkzeug im Aufnahmebereich räumlich bewegt wird, mehrere Zwischenstellungen des Kalibrierungswerkzeugs von den Referenzierungskameras aufgenommen und mittels einer Rechereinheit einzeln in Raumkoordinaten umgesetzt werden und die Rechereinheit aus den Raumpositionen der Reflektoren die Winkel- und Abstandsstellung der Kameras errechnet und speichert.

Die Möglichkeit, daß während einer Operation einer der Operationsteilnehmer an den Kameraständer oder die Kameras selbst stößt, ist nicht völlig abwegig. Bei einer Stellungsveränderung der Kameras während einer Operation können aber plötzlich unterschiedliche Bilder an das Rechnersystem geliefert werden. Um eine Neukalibrierung vorzunehmen, die wenig Zeit in Anspruch nimmt, aber auch um eine Anfangskalibrierung leicht durchführen zu können, bietet das vorher beschriebene Verfahren erfindungsgemäß eine vorteilhafte Möglichkeit. Die Rechereinheit kennt die Form der Reflektoren und ihren Abstand auf dem Kalibrierungs-

werkzeug und kann, in einem gesonderten Kamerastellungs-Kalibrierungsschritt dieses Kalibrierungswerkzeug deshalb dann erkennen, wenn es im Aufnahmebereich der Kameras geschwenkt wird. Die Informationen, die sich aus "Momentaufnahmen" mehrerer Stellungen des Kalibrierungswerkzeugs während dessen Bewegung ergeben, lassen für die Rechneinheit aufgrund der bekannten Daten des Kalibrierungswerkzeugs einen Rückschluß auf die Kamerastellung zu. Schon nach kurzer Zeit kann die Rechneinheit die Kamerastellung erfassen. Dieses Verfahren spart zunächst bei der Ersteinstellung Zeit und ist wegen seiner schnellen Durchführbarkeit und Einfachheit auch zur Nachjustierung nach einem Kamera-Stellungswechsel bestens geeignet.

Bei der räumlichen Bewegung des Kalibrierungswerkzeugs beim Kalibrierungsvorgang für die Kameras ist es von Vorteil, wenn beide Reflektoren zu jedem Zeitpunkt möglichst weit voneinander entfernt sind, und zwar bezogen auf die projizierte Kameraerfassungsebene. Deshalb wird bei einer vorteilhaften Ausgestaltung des Kalibrierungsverfahrens die räumliche Bewegung des Kalibrierungswerkzeugs und damit der Reflektoren auf einer Grafik-Bildschirmausgabe, beispielsweise dem Bildschirm des Neuronavigationssystems, durchgängig angezeigt. Die Bewegungen können dann so durchgeführt werden, daß beide Reflexionspunkte am Schirm immer möglichst weit auseinander sind, was eine schnellere und genauere Kalibrierung ermöglicht.

Als Kalibrierungswerkzeug kann vorteilhafterweise ein mit abnehmbaren Reflektoren versehener Punktzeiger verwendet werden, welcher bei jeder Operation ohnehin benötigt wird. Die Daten der Reflektoren sowie ihr Abstand werden dann dem System als Daten des Kalibrierungswerkzeugs eingegeben werden.

Alternativ besteht die Möglichkeit, einen separaten mit abnehmbaren Reflektoren versehenen Kalibrierungsstab einzusetzen, der dann, zum jeweiligen System gehörig, jedesmal eingesetzt wird. Vorteilhafterweise kann ein solcher Kalibrierungsstab länger sein als beispielsweise ein Punktzeiger. Auch hierdurch läßt sich die Schnelligkeit und Genauigkeit der Kalibrierung verbessern.

Die Erfindung betrifft ferner eine Steuerung für ein chirurgisches Mikroskop. Das Mikroskop umfaßt folgende Bauteile:

Einen Mikroskopständer mit einem Fuß und mehreren motorisch und manuell im Raum bewegbaren aneinander angelenkten Armen und einer Mikroskophalter- bzw. Steuereinheit, eine Strahlungsquelle für vorzugsweise Infrarotstrahlung, mindestens zwei Erfassungs- bzw. Referenzierungskameras, und eine mit den Kameras verbundene Rechneinheit mit einer Grafik-Bildschirmausgabe.

Erfindungsgemäß ist das Mikroskop dadurch gekennzeichnet, daß mindestens drei Reflektoren wieder abnehmbar über einen Adapter in einer nur für diese Reflektorengruppe charakteristischen Anordnung an ihm angebracht sind.

Eingangs ist bei Mikroskopen gemäß dem Stand der Technik für nachteilig befunden worden, daß diese ihre Positionsmeldung lediglich aufgrund der Winkelstellung der Trägerarmteile an eine Rechneinheit eines Neuronavigationssystems zurückmelden können. Sie müssen deshalb mit sehr schweren Ständern und Füßen ausgestattet werden, damit keine ungewollte Verschiebung des Mikroskops die Neuronavigation referenzlos ma-

chen und damit beenden kann.

Die erfindungsgemäße Mikroskopsteuerung, die eine charakteristische Reflektorenanordnung beinhaltet, welche am Mikroskop adaptiert ist, bietet nunmehr die Möglichkeit einer weiteren Rückmeldung der Positionsdaten des Mikroskops. Durch die besondere Anordnung der Reflektoren kann ein Neuronavigationssystem jederzeit diese Anordnung als Mikroskop-Reflektorenanordnung identifizieren. Die Mikroskopstellung wird über das Kamerasystem dem Rechner also als unmittelbare Raumposition mitgeteilt. Auch wenn eine Verschiebung des Mikroskops erfolgt, können deshalb die Daten aus der Arm-Gelenkstellung und diejenigen aus der Reflektorenstellung jederzeit abgeglichen werden; die Neuronavigation bleibt auch bei einem ungewollten Stellungswechsel des Mikroskops intakt.

Vorteilhafterweise wird die Raumstellung des Mikroskops bei einer ersten Kalibrierung mittels einer Fokkussierung der Mikroskopoptik auf einem Punkt mit bekannten Raumkoordinaten, vorzugsweise den Kalibrierungspunkt eines Referenzadapters durchgeführt, wobei die Fokkussierungsdaten mittels einer Datenübertragungseinrichtung an die Rechneinheit übertragen werden, während dieselbe Rechneinheit mittels der Reflektoren und der Kameras die Raumposition des Mikroskops feststellt.

Hier kommt wieder die schon vorher erwähnte Kalibrierungsfunktion eines Referenzadapters, der ebenfalls mit einer Drei-Reflektoren-Anordnung versehen ist, zum Tragen. Um der Rechneinheit mitzuteilen, wo sich das Mikroskop in einer Ausgangsstellung befindet, kann der Fokus des Mikroskops auf den Trichtermittelpunkt eines vorher beschriebenen Referenzadapters scharfgestellt werden. Der Rechner erhält dann Daten über den Zoomfaktor und den Fokkussierungsabstand über eine Datenübertragungseinrichtung, beispielsweise einer Datenleitung, von Mikroskop und kennt damit, weil der Raumort des Kalibrierungspunkts bekannt ist, die Stellung des Fokkussierungspunktes sowie aus den Reflexionspunkten der am Mikroskop angebrachten Reflektoren die Mikroskopstellung. Aus diesen Daten kann eine genaue Positionsbestimmung des Mikroskops vorgenommen werden.

Nach der ersten Kalibrierung besteht erfindungsgemäß nunmehr auch die Möglichkeit, jeweils durch die Ansteuerung der Bewegungsmotoren des Mikroskops durch die Rechneinheit bzw. durch die Rückmeldung der Mikroskopbewegungen und -Positionsdaten an die Rechneinheit folgende Steuerungsabläufe durchzuführen:

- a) automatische Verfolgung und Fokkussierung einer Instrumentenspitze, deren Position der Rechneinheit, über Reflektoren bekannt ist;
- b) automatische Fokkussierung eines gespeicherten oder vorgegebenen Behandlungspunktes; und
- c) Fokkussierung eines Behandlungspunktes aus verschiedenen Raum- und Winkelstellungen des Mikroskops.

Damit lassen sich folgende Tätigkeiten durchführen: Der Chirurg deutet mit der Spitze eines mit Reflektoren versehenen, dem Navigationssystem bekannten Positionszeigers auf eine Stelle der zu behandelnden Partie, worauf die Rechneinheit die Koordinaten dieser Stelle identifiziert und das Mikroskop an diese Stelle fährt und den Fokus genau hier einstellt. Der Chirurg spart sich dadurch aufwendige Manövrierarbeiten mit dem Mi-

kroskop-Steuersystem. Der Chirurg kann dem System ebenfalls einen bestimmten Punkt, den er bereits fokussiert hat, zur Abspeicherung geben. Dieser Punkt kann danach durch einen einfachen Befehl jederzeit vom Mikroskop wieder fokussiert werden. Manchmal, besonders wenn in Hohlräume mit nur kleinen Öffnungen einfokussiert werden muß, muß zur "Ausleuchtung" des gesamten Hohlraums die gedachte Mikroskop-Fokuslinie um diese Öffnung "geschwenkt" werden. Es besteht mit der vorliegenden Steuerung ebenfalls die Möglichkeit, den Schwenkpunkt dieser Linie einzuspeichern und eine vorher beschriebene Ausleuchtung vorzunehmen.

Erfindungsgemäß wird weiterhin ein Ultraschall-Diagnosesystem mit einem Ultraschallabstrahler- und empfänger und einer damit verbundenen Auswertungseinheit- und einer Bildschirmausgabe vorgestellt. Dieses System zeichnet sich erfindungsgemäß dadurch aus, daß am Ultraschallabstrahler- und empfänger ein Reflektorenadapter mit mindestens drei Reflektoren befestigt ist, der in einem eingangs beschriebenen Reflektorenreferenzierungssystem integriert ist.

Mit einer solchen erfindungsgemäßen Ausbildung lassen sich nunmehr die Daten, die mit einem Ultraschall-Diagnosegerät erhalten werden, positionell in ein Neuronavigationssystem einordnen. Auch der Ultraschallabstrahler- und empfänger besitzt eine Reflektorengruppe mit einer speziellen Anordnung, die vom Rechner nur für ihn identifiziert wird. Wenn die Daten, die vom Ultraschallsystem ermittelt werden, mit den Anatomiedaten aus der Computertomographie abgeglichen werden, können mit diesem System auch solche Schwierigkeiten verhindert werden, die beispielsweise dadurch entstehen, daß nach der Öffnung der über dem Behandlungsgebiet liegenden Gewebeschichten das zu behandelnde Gewebe etwas "zusammensackt".

Das erfindungsgemäße Neuronavigationssystem besteht insgesamt aus mehreren Teilen, nämlich einem Reflektorenreferenzierungssystem, einem Markersystem, einem Kalibrierungsverfahren für die Kameras, einer Mikroskopsteuerung und einem Ultraschall-Diagnosesystem. Alle diese Systemteile können jeweils separat eingesetzt und verwirklicht werden, sind aber auch in jedweder Kombination nutzbar, wobei die im Vorhergehenden beschriebenen Vorteilen gegenüber dem Stand der Technik zum Tragen kommen.

Die Erfindung soll im weiteren beispielhaft anhand der beiliegenden Figuren näher erläutert werden. Es zeigen:

Fig. 1 ein Gestell, in dem eine Rechneinheit mit Bedienelementen untergebracht ist, auf dem ein Computermonitor als Grafik-Bildschirmausgabeeinheit steht und an welches ein Kamerahalter mit zwei Infrarotkameras angebracht ist;

Fig. 2 einen neurochirurgischen Punktzeiger mit an ihm angebrachten erfindungsgemäßen Reflektoren;

Fig. 3 eine chirurgische Pinzette, an deren hinterem Ende ein Adapter mit drei besonders angeordneten Reflektoren befestigt ist;

Fig. 4 einen Querschnitt durch einen mit zwei Reflektoren versehenen Punktzeiger;

Fig. 5 eine Aufsicht auf einen Referenzadapter mit drei Reflektoren und ein Kalibrierungspunkt;

Fig. 6 eine verkleinerte Darstellung eines Kalibrierungsstabes;

Fig. 7 einen Landmarken-Aufsatz, wie er bei einer Computertomographieaufnahme verwendet wird;

Fig. 8 einen Landmarken-Aufsatz, wie er bei der Referenzierung der Landmarken am Operationstisch ver-

wendet wird;

Fig. 9 einen Querschnitt durch einen Befestigungssockel für die Landmarken-Aufsätze aus den Fig. 7 und 8; und

Fig. 10 eine Aufsicht auf den Befestigungssockel der Fig. 9.

In einem Operationsraum, in dem das erfindungsgemäße Neuronavigationssystem zum Einsatz kommt, steht an einem Ende eines Operationstisches beispielsweise ein Gestell, wie es in Fig. 1 mit den Bezugszeichen 10 angedeutet ist. In diesem Gestell ist eine Rechneinheit 11 und verschiedene weitere Steuerungseinheiten, wie zum Beispiel eine Tastatur (nicht bezeichnet) untergebracht. Verbunden mit dieser Rechneinheit ist der auf dem Gestell platzierte Schirm 12. Dieser gibt in verschiedenen Ansichten, auch in einer 3D-Ansicht, Schnittebenen bzw. Bilder der Patientenanatomie wieder und zeigt auch die Positionen von chirurgischen Instrumenten oder Reflektoren an diesen Instrumenten und an Behandlungsapparaturen auf. Desweiteren können in verschiedenen Feldern Zusatzinformationen ausgegeben werden.

Am Gestelloberteil, auf dem der Schirm 12 steht, ist ebenfalls ein Kamerahalter 13 befestigt. Dieser Kamerahalter 13 ist verstellbar ausgeführt und trägt an den Enden seiner oberen Arme zwei Infrarotkameras, die mit 14 bezeichnet sind.

Selbstverständlich sind die vorher beschriebenen Komponenten untereinander durch Datenübertragungsleitungen verbunden. Die Kameras 14 erfassen den Bereich des Operationstisches, in dem die Behandlung stattfindet und können dreidimensional Raumkoordinaten von chirurgischen Instrumenten und Behandlungsapparaturen erfassen, die mit Reflektoren versehen sind, welche Infrarotstrahlung reflektieren.

Am Operationstisch ist beispielsweise der Kopf eines Patienten an einer Feststellvorrichtung ortsfest befestigt. Die Koordinaten der Patientenanatomie werden der in Fig. 1 dargestellten Rechneinheit 11 durch ein im weiteren beschriebenes Markersystem zunächst durch Computertomographie-Daten mitgeteilt, wobei die momentane Anordnung der Marker bei der Operation ebenfalls mit Hilfe der Rechneinheit und der Kameras vor Ort referenziert wird.

Dazu wird beispielsweise ein in Fig. 2 dargestellter Punktzeiger 20 verwendet. Der Punktzeiger 20 weist zwei durch Steckverbindungen an ihm angebrachte Reflektoren 21 und 22 auf. Der Abstand sowie die Form dieser Reflektoren 21 und 22 sind der Rechneinheit 11 bekannt; d. h. dieser Punktzeiger 20 ist ein solcher, der immer dem jeweiligen Rechnersystem zugeordnet ist. Bekannt ist der Rechneinheit 20 weiterhin die Position der Spitze 23 des Positionszeigers 20. Wenn dieser Positionszeiger 20 in das Erfassungsfeld der Kameras 14 gebracht wird, kann er unmittelbar vom System erkannt werden, d. h. seine Spitze 23 kann auf den Schirm 12 sichtbar gemacht werden.

Die Fig. 3 zeigt nunmehr eine chirurgische Pinzette 30. Am hinteren Ende dieser Pinzette 30 ist ein Adapter 31 lösbar mit dieser verbunden, der an seinen Armen drei Reflektoren 32, 33 und 34 trägt, welche eine charakteristische Anordnung aufweisen, die im Navigationssystem nur diesem Adapter 31 zugeteilt wird. Eine solche Pinzette 30 kann jedwede Pinzette sein, an der sich der Adapter 31 anbringen läßt. Es kann sich also hier auch um eine Pinzette handeln, mit der ein Neurochirurg schon seit Jahren arbeitet. Damit die Pinzette 30 zum Einsatz kommen kann, muß dem Neuronavigationssy-



stem zunächst die Position ihrer Spitze 35 mitgeteilt werden. Hierzu wird, wie schon vorher bezüglich des Reflektorenreferenzierungssystem beschrieben, mit der Pinzettenspitze 35 ein im Navigationssystem bekannter Raumpunkt angefahren, worauf Kreisbewegungen mit dem Ende der Pinzette 30 durchgeführt werden. Die Rechneinheit 11 erkennt über die Kameras 14 die spezielle Anordnung der Reflektoren 32, 33 und 34 und kann aus ihren Bewegungen bei stillstehender Spitze 35 der Pinzette 30 die Spitzenposition ermitteln.

Der Punktzeiger 20 aus Fig. 2 sowie die Pinzette 30 aus Fig. 3 sollen an dieser Stelle beispielhaft für alle Instrumente stehen, die bei neurochirurgischen Eingriffen verwendet werden. Das System arbeitet kabellos mit einem Reflektorenadapter mit passiven Reflektoren, wie sie in Fig. 3 gezeigt sind. Diese können beispielsweise auch an Ultraschall-Diagnosegeräten und neurochirurgischen Mikroskopen befestigt werden, wobei die Kalibrierung eines Mikroskops dann, wie beschrieben, über die Fokkussierung eines ortsbekannten Kalibrierungspunktes durchgeführt wird.

Die Fig. 4 zeigt eine Schnittansicht des Punktzeigers 20 aus Fig. 2 in einer anderen Ebene. Deutlich wird hier, daß die Reflektoren 21 und 22 durch Steckverbindungen am Positionszeiger 20 angebracht sind. Die Reflektoren 21, 22 sind deshalb abnehmbar. Da die Reflektoren 21, 22, die meist mit einem empfindlichen reflektierenden Überzug ausgestaltet sind, die einzigen Teile des Positionszeigers 20 sind, die bezüglich der Sterilisation eine hohe Empfindlichkeit aufweisen, ist dieser Positionszeiger 20 mit den abnehmbaren Reflektoren 21, 22 sehr einfach und schnell sterilisierbar. Sind nämlich die Reflektoren 21, 22 erst einmal abgenommen, kann beispielsweise eine Autoklaven-Sterilisation durchgeführt werden, worauf ein neuer vorbereiteter Satz sterilisierter Reflektoren 21 und 22 aufgesteckt wird. Der Positionszeiger 20 kann so nach kurzer Zeit sterilisiert wiederverwendet werden.

Die Fig. 5 zeigt eine Aufsicht auf einen schon vorher desöfteren beschriebenen Referenzadapter 50, der mittels einer in dieser Ansicht unter seinem Mittelpunkt verborgenen Anklammervorrichtung an einem relativ zum Patienten ortsfesten Teil befestigt wird. Dieser Teil kann beispielsweise die Feststelleinrichtung für den Kopf eines Patienten sowie ein Dornfortsatz in einem Wirbelkörper sein.

Der Referenzadapter 50 besteht aus den Armen 51, 52 und 53, die eine nur für ihn charakteristische Länge und Winkelstellung aufweisen. Am Ende dieser Arme 51, 52 und 53 sind jeweils Reflektoren 54, 55 und 56 befestigt. Durch diese Reflektorengruppe und ihre charakteristische Anordnung und/oder Größe kann der Referenzadapter 50 jederzeit eindeutig durch das Neuronavigationssystem bezüglich seiner Position identifiziert werden. Die Position des Referenzadapters 50 bleibt normalerweise während einer Operation immer dieselbe. Falls es jedoch nötig wird, den Patienten umzulagern, kann der ortsfest mit der referenzierten Patientenanatomie verbundene Referenzadapter 50 jederzeit auch nachträglich vom Navigationssystem erfaßt und verfolgt werden, so daß auch die Gesamtlage des Patienten-Referenzsystems jederzeit der Rechneinheit 11 bekannt bleibt.

Eine besondere Rolle in Hinsicht auf den Referenzadapter 50 spielt der Kalibrierungspunkt 57, der in diesem Beispiel am Ausgangspunkt der drei Arme 51, 52 und 53 angeordnet ist. Er befindet sich in einer Mulde, so daß er positionsgenau durch Instrumentenspitzen (bei-

spielsweise die Positionszeigerspitze 23, Fig. 2 oder die Pinzettenspitze 35, Fig. 3) angefahren werden kann. Nach diesem Anfahren folgt dann eine Bewegung des Instruments, deren Mittelpunkt die Spitze, also die Mulde des Referenzadapters 50 im Kalibrierungspunkt 57 bildet. Die bereits im einzelnen beschriebene Kalibrierung kann durchgeführt werden.

In sehr verkleinertem Maßstab ist in Fig. 6 ein Kalibrierungswerkzeug, hier ein Kalibrierungsstab 60 dargestellt. Dieser Kalibrierungsstab 60 sollte in realiter eine Länge von mindestens etwa 40 cm haben. An beiden Enden des Kalibrierungsstabes 60 ist in einem vorbestimmten, den Rechner 11 bekannten Abstand jeweils ein Reflektor 61, 62 angeordnet. Die charakteristischen Eigenschaften der auch hier abnehmbar ausgestalteten Reflektoren 61, 62, nämlich ihre Größe sowie ihr Abstand am Kalibrierungsstab 60 sind der Rechneinheit 11 bekannt und werden nur diesem Stab zugeordnet. Mit diesem Stab 60 kann dann das schon beschriebene Kalibrierungsverfahren für die Winkel- bzw. Abstandsstellung der Kameras 14 durchgeführt werden.

Die Fig. 7 zeigt einen Landmarken-Aufsatz, wie er bei der Erfassung der Patientenanatomie im Computertomographen verwendet wird. Dieser Aufsatz ist mit 70 bezeichnet. Er besteht aus einem kugelförmigen Hauptkörper 71, der beispielsweise eine Aluminiumkugel ist. In dieser Aluminiumkugel, die individuell auf der Basis ihrer im System einzigartigen Größe sowohl durch die Computertomographie als auch durch das Neuronavigationssystem identifiziert werden kann, ist unten ein Rastfortsatz 72 angebracht, mit dem der Landmarkenaufsatz 70 in eine Befestigungsvorrichtung 90 (Fig. 9) eingeschoben und eingerastet werden kann.

Ein Landmarkenaufsatz, durch den der Landmarkenaufsatz 70 aus Fig. 7 nach der Computertomographie ersetzt wird, ist als Aufsatz 80 in Fig. 8 bezeichnet. Die Abmessungen des Landmarkenhauptkörpers 81, d. h. der Kugeldurchmesser entspricht demjenigen des Landmarkenhauptkörpers 71 aus Fig. 7. Modifiziert ist der Landmarken-Aufsatz 80 dahingehend, daß ein oberer Teil der Kugel abgeschnitten ist und in die Kugel ein muldenförmiger Trichter 83 eingearbeitet wurde, dessen Spitze sich genau in der Kugelmitte befindet, wie im Ausbruch der Fig. 8 gezeigt ist. Der Rastfortsatz 82 entspricht genau dem Rastfortsatz 72 (Fig. 7).

Nach der Patientendatenerfassung im Computertomographen wird der Landmarken-Aufsatz 70 durch den Landmarken-Aufsatz 80 ersetzt. Weil beide Kugeln denselben Durchmesser haben, kann der Landmarken-Aufsatz 80 durch das Neuronavigationssystem als dieselbe Landmarke identifiziert werden, wie sie als Landmarke 70 bei der Computertomographie erfaßt wurde. Die Mulde mit der trichterförmig zusammenlaufenden Spitze erlaubt beim Referenzierungsschritt für die Landmarke 80 im Rahmen der Kalibrierung des Neuronavigationssystems das genaue Anfahren des Kugelmittelpunkts durch die Spitze eines chirurgischen Instruments. Damit wird die Referenzierung erleichtert und genauer gemacht, sie kann auch nach dem Abdecken mit sterilen Tüchern durchgeführt werden.

Die Fig. 9 zeigt eine Befestigungsvorrichtung 90, die an ihrer Unterseite mittels eines Haftmittels beispielsweise auf der Haut eines Patienten befestigt wird. Der Sockel 92 dieser Befestigungsvorrichtung 90 weist eine Einstecköffnung 91 auf, in die sowohl der Landmarkenaufsatz 70 als auch der Landmarken-Aufsatz 80 aus den Fig. 7 und 8 eingesteckt und verrastet werden können. Die Fig. 10 zeigt eine obere Ansicht der Befestigungs-



vorrichtung 90. Es ist zu sehen, daß im Sockel 92 eine zusätzliche nasenförmige Öffnung 100 eingebracht ist, durch die die Rastfortsätze 72, 82 eingeführt werden können. Nach dem Drehen der gesamten Landmarken-Aufsätze 70 und 80 rasten deren untere Vorsprünge im Durchgangsloch 91 des Sockels hinter dessen unterem Absatz ein und verbleiben dort fest.

Während nunmehr die wichtigsten Bestandteile des Neuronavigationssystems gemäß der Erfindung erläutert wurden, soll im folgenden die Erfindung noch dadurch weiter und eingehender erklärt werden, daß ein typischer Behandlungsablauf dargestellt wird:

Zunächst werden an einem Patienten, an dessen Gehirn ein neurochirurgischer Eingriff vorzunehmen ist, fünf Landmarkensockel 92 an der Haut in der Umgebung der zu öffnenden Schädelpartien befestigt. Zur Referenzierung der Anatomiedaten bei einer Computertomographie werden in die Sockel 92 fünf kugelförmige Aluminium-Landmarken-Aufsätze 70 eingesetzt. Die Stellen, an denen die Landmarken befestigt werden, werden so ausgewählt, daß sie während der Behandlung eine möglichst geringe Verschiebung erfahren. Sie sollten möglichst nah an der zu behandelnden Stelle liegen und dabei untereinander einen möglichst großen Abstand aufweisen. Mindestens drei Landmarken müssen verwendet werden, die Verwendung von zwei zusätzlichen Landmarken kann dem System jedoch eine größere Genauigkeit und Sicherheit verleihen.

Als nächstes wird eine Computertomographie durchgeführt, bei der die zu behandelnden Partien sowie die Landmarken erkannt und positionell miteinander ins Verhältnis gebracht werden.

Während der Patient in die Chirurgie gebracht wird, werden die Computertomographiedaten auf optischen Disks abgespeichert und darauf zur Recheneinheit 11 gebracht, die die Daten ausliest und auf dem Schirm 12 als Bilder wiedergibt. Diese Bilder sind Schnittbilder in verschiedenen Ebenen sowie ein 3D-Bild. Der Chirurg kann seine Operationsstrategie nach dieser Wiedergabe planen. Während die Anästhesie des Patienten vorbereitet wird, wird die Stellung der Kameras 14 am Ständer kalibriert. Hierzu nimmt der Chirurg einen Kalibrierungsstab 60 mit zwei Reflektoren 61 und 62 und bewegt ihn in der Erfassungszone der Kameras 14. Durch die Erfassung von etwa zehn momentanen Stellungen der Reflektoren 61 und 62 am Kalibrierungsstab 60 in kurzen Abständen, kann das System die Kamerastellung erfassen und abspeichern.

Der Kopf des Patienten wird nun mit einer Feststellvorrichtung am Operationstisch räumlich unbeweglich gemacht. Hierauf werden die kugelförmigen Landmarken-Aufsätze 70 durch die mit Positionierungstrichtern 83 versehenen teilkugelförmigen Landmarken-Aufsätze 80 ersetzt.

Nach der Sterilisation wird der Patient steril abgedeckt, wobei auch die Landmarken 80 mit abgedeckt werden können. Die Abdeckung kann mittels herkömmlicher Tücher oder mittels einer durchsichtigen Folie durchgeführt werden.

Im darauffolgenden Schritt wird ein Referenzadapter 50 an der Feststellvorrichtung für den Kopf des Patienten befestigt. Er wird durch seine besondere Reflektoranordnung identifiziert, seine Position sowie die Position seines Kalibrierungspunktes 57 werden durch das Neuronavigationssystem festgestellt.

Der Chirurg kann nun mit einem ebenfalls identifizierten, dem System bekannten Punktzeiger 20 die fünf Landmarken-Aufsätze 80 anfahren, und zwar so, daß die

Spitze 23 des Punktzeigers 20 jeweils genau in die Trichterspitze, also den Mittelpunkt der Kugel 81 einfährt. Aus den bekannten Daten der jeweiligen Landmarken, die individuell unterscheidbar sind, kann das System innerhalb von Sekunden die jeweiligen Landmarken identifizieren und somit auch die Patienten-Anatomiedaten aus der Computertomographie in sein Erfassungssystem übernehmen. Die Stellung der Spitzen von neurochirurgischen Instrumenten kann nunmehr relativ zu den Anatomiedaten am Schirm 12 dargestellt werden. Dies gilt nach einer Kalibrierung am Kalibrierungspunkt 57 des Referenzadapters 50 auch für jedwede chirurgischen Instrumente, auf die ein Reflektorenadapter 31 aufgesetzt wurde.

Um den genauen Ort zu bestimmen, an dem ein Eingriff vorgenommen werden muß, kann die Spitze eines Punktzeigers, der auf die Kopfhaut zeigt, virtuell verlängert werden. Der Chirurg sieht die zu behandelnde Läsion virtuell mit Hilfe der Bildschirmausgabe und kann durch die ebenfalls virtuelle Verlängerung seines Instruments den optimalen Eingriffsweg vorausbestimmen.

Nach der Öffnung des Schädels an der so aufgefundenen Stelle kann wie oben beschreiben, eine Pinzette 30 mit einem daran angebrachten Drei-Reflektoren-Adapter 31 am Kalibrierungspunkt 57 des Referenzadapters 50 kalibriert werden, d. h. der genaue Ort der Pinzetten-35 spitze 35 wird festgestellt. Mit dieser Pinzette 30 kann nunmehr die Resektion der Läsion vorgenommen werden, wobei der Chirurg die Spitze 35 der Pinzette 30 zu jeder Zeit am Bildschirm 12 verfolgen kann.

Mit dieser Methode kann also die Resektion der Läsion unter weitgehender Vermeidung der Zerstörung von gesundem Gewebe durchgeführt werden. Ferner konnte die Operation in einer sehr kurzen Zeit durchgeführt werden. Alle verwendeten Instrumente konnten aufgrund des Einsatzes von passiven Reflektoren kabellos bewegt werden, was den Chirurgen Behinderungen während der Operation ersparte. Er konnte durch den Einsatz von Drei-Reflektoren-Adaptoren seine eigenen gewohnten Instrumente verwenden. Alle diesen Faktoren konnten insgesamt zu einer Verbesserung des Behandlungsergebnisses führen.

#### Patentansprüche

1. Reflektorenreferenzierungssystem für neurochirurgische Instrumente (20, 30) und Behandlungsapparaturen mit

einer Strahlungsquelle für vorzugsweise Infrarotstrahlung (14), mindestens zwei Erfassungs- bzw. Referenzierungskameras, einer mit den Kameras (14) verbundenen Recheneinheit (11) mit einer Grafik-Bildschirmausgabe (12), und mehreren Reflektoren (21, 22, 32, 33, 34), dadurch gekennzeichnet, daß mindestens zwei Reflektoren (21, 22) wiederabnehmbar über Adapter (24, 31) an Instrumenten (20, 30) bzw. Behandlungsapparaturen in einer nur für diese Reflektorengruppe charakteristischen Anordnung angebracht werden können.

2. Reflektorenreferenzierungssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Reflektoren (21, 22, 32, 33, 34) kugelförmig und mit einem reflektierenden Überzug ausgebildet sind.

3. Reflektorenreferenzierungssystem nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Reflektoren (21, 22) über an einem Instrument, insbesondere einem Punktzeiger (20) oder einem Kali-

brierungsstab (60), angebrachte Steckverbindungen (24) an diesem befestigt werden.

4. Reflektorenreferenzierungssystem nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß drei Reflektoren (32, 33, 34) an mindestens jeweils einem Armende eines mit Reflektorenarmen und einem Befestigungsfuß ausgebildeten Adapters (31) befestigt sind, wobei der Befestigungsfuß an einem chirurgischen Instrument (30) oder einer Behandlungsapparatur befestigbar ist.

5. Reflektorenreferenzierungssystem nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens drei Reflektoren an einem Adapter zur Anbringung an ein chirurgisches Mikroskop befestigt sind.

6. Reflektorenreferenzierungssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es ferner einen dreiarmligen Referenzadapter (50) mit einem Befestigungsfuß umfaßt, der ebenfalls drei in besonderer charakteristischer Anordnung befestigbare Reflektoren (54, 55, 56) an jedem Armende aufweist, wobei der Fuß an seinem Ende mit einer sich an die jeweilige Befestigungsstelle flexibel anpassenden Klammer versehen ist.

7. Reflektorenreferenzierungssystem nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Referenzadapter vorzugsweise am Ausgangspunkt der drei Arme (51, 52, 53) eine konisch zusammenlaufende Trichtermulde mit einem zentrischen Kalibrierungspunkt (57) für die Spitzen der chirurgischen Instrumente (20, 30) aufweist.

8. Markersystem zur Referenzierung und Positionsbestimmung von neurochirurgisch zu behandelnden Körperpartien, mit mindestens drei künstlichen Landmarken-Aufsätzen (70), ebenso vielen Befestigungsvorrichtungen (90) zur Befestigung der Landmarken-Aufsätze (70) am Patienten, dadurch gekennzeichnet, daß jeder einzelne Landmarken-Aufsatz (70) ein sowohl bei einer diagnostischen Patientendatenerfassung als auch bei einer nachfolgenden Behandlungsüberwachung nur für sie selbst charakteristisches Bild abgibt.

9. Markersystem nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Landmarken-Aufsätze (70) aus Metallkörpern bestehen, die aufgrund spezifischer Materialdichte, Größe, Form und Anordnung bei der Datenerfassung in einem Computertomographen sowie bei der Positionserkennung mit Infrarotkameras individuell unterscheidbar sind.

10. Markersystem nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Landmarken-Aufsätze (70) aus von den Befestigungsvorrichtungen (90) abnehmbaren Aluminiumkörpern von erfaßbar spezifischer Form und/oder Größe bestehen.

11. Markersystem nach den Ansprüchen 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß es einen zusätzlichen Satz trichterförmiger Landmarken-Aufsätze (80) umfaßt, deren Trichtermittelpunkt dem Mittelpunkt der Landmarken-Aufsätze (70) entspricht, für die sie vor einer Referenzierung am Operationstisch ausgetauscht werden können.

12. Kalibrierungsverfahren zur Bestimmung der Winkel- und Abstandsstellung von Referenzierungskameras (14), dadurch gekennzeichnet, daß ein Kalibrierungswerkzeug (60, 20) mit zwei an vorbestimmten Positionen mit bekanntem Abstand angebrachten Reflektoren (61, 62, 21, 22) in den Aufnahmebereich beider Kameras (14) eingebracht

wird, das Kalibrierungswerkzeug (60, 20) im Aufnahmebereich räumlich bewegt wird, mehrere Zwischenstellungen des Kalibrierungswerkzeugs (60, 20) von den Referenzierungskameras (14) aufgenommen und mittels einer Rechneinheit (11) einzeln in Raumkoordinaten umgesetzt werden, und daß die Rechneinheit (11) aus den Raumpositionen der Reflektoren (61, 62, 21, 22) die Winkel und Abstandsstellung der Kameras (14) errechnet und speichert.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß eine Grafik-Bildschirm Ausgabe (12) während der räumlichen Bewegung des Kalibrierungswerkzeugs (60, 20) die projizierte Relativstellung der Reflektoren (61, 62, 21, 22) anzeigt.

14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, daß als Kalibrierungswerkzeug ein mit abnehmbaren Reflektoren (21, 22) versehener Punktzeiger (20) verwendet wird.

15. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, daß als Kalibrierungswerkzeug ein mit abnehmbaren Reflektoren (61, 62) versehener Kalibrierungsstab (60) verwendet wird.

16. Steuerung für ein chirurgisches Mikroskop mit einem Mikroskopständer mit einem Fuß und mehreren motorisch oder manuell im Raum bewegbaren aneinander angelenkten Armen und einer Mikroskophalte- bzw. Steuereinheit,

einer Strahlungsquelle für vorzugsweise Infrarotstrahlung, mindestens zwei Erfassungs- bzw. Referenzierungskameras,

einer mit den Kameras verbundenen Rechneinheit mit einer Grafik-Bildschirm Ausgabe, dadurch gekennzeichnet, daß am Mikroskop mindestens drei Reflektoren wiederabnehmbar über einen Adapter in einer nur für diese Reflektorengruppe charakteristischen Anordnung angebracht sind.

17. Steuerung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Raumstellung des Mikroskops bei einer ersten Kalibrierung mittels einer Fokussierung der Mikroskopoptik auf einen Punkt mit bekannten Raumkoordinaten, vorzugsweise den Kalibrierungspunkt eines Referenzadapters, durchgeführt wird, wobei die Fokussierungsdaten mittels einer Datenübertragungseinrichtung an die Rechneinheit übertragen werden, während dieselbe Recheneinheit mittels der Reflektoren und der Kameras die Raumposition des Mikroskops feststellt.

18. Steuerung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß nach der ersten Kalibrierung jeweils durch die Ansteuerung der Bewegungsmotoren des Mikroskops durch die Rechneinheit bzw. durch die Rückmeldung der Mikroskopbewegungen und -positionsdaten an die Rechneinheit folgende Steuerungsabläufe durchgeführt werden:

- a) Automatische Verfolgung und Fokussierung einer Instrumentenspitze deren Position der Recheneinheit über Reflektoren bekannt ist;
- b) Automatische Fokussierung eines gespeicherten oder vorgegebenen Behandlungspunktes; und
- c) Fokussierung eines Behandlungspunktes aus verschiedenen Raum- und Winkelstellungen des Mikroskops.

19. Ultraschall-Diagnosesystem mit einem Ultraschallabstrahler- und empfänger,

einer damit verbundenen Auswertungs- und  
Bildschirmausgabe,  
dadurch gekennzeichnet, daß am Ultraschallab-  
strahler- und empfänger ein Reflektorenadapter  
mit mindestens drei Reflektoren befestigt ist, der in  
einem Reflektorenreferenzierungssystem nach den  
Ansprüchen 1 bis 7 integriert ist.

20. Neuronavigationssystem mit einem Reflektorenreferenzierungssystem nach den Ansprüchen 1 bis 7 und einem Markersystem nach den Ansprüchen 8 bis 11.

21. Neuronavigationssystem nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß es ferner eine Mikroskopsteuerung nach den Ansprüchen 16 bis 18 für ein chirurgisches Mikroskop umfaßt.

22. Neuronavigationssystem nach einem der Ansprüche 20 oder 21, dadurch gekennzeichnet, daß vor seinem Einsatz ein Kalibrierungsverfahren nach den Ansprüchen 12 bis 15 durchgeführt wird.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

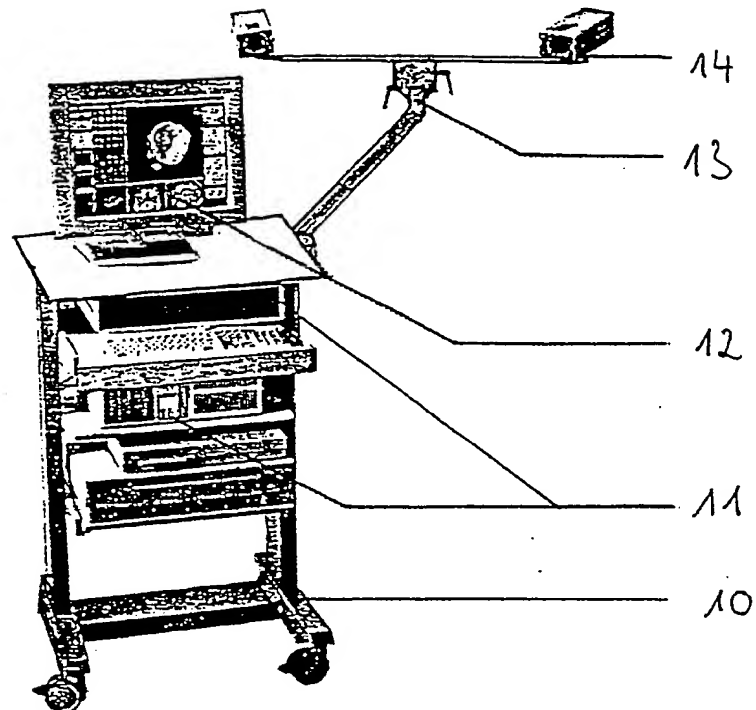


Fig. 1

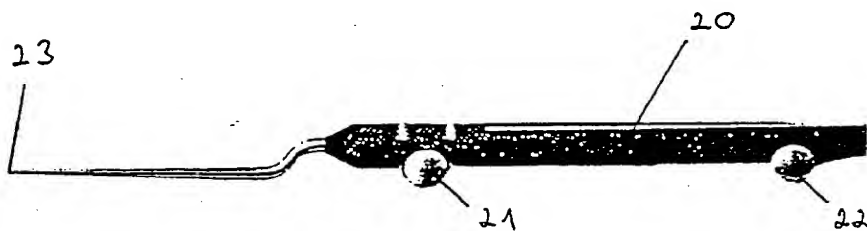


Fig. 2

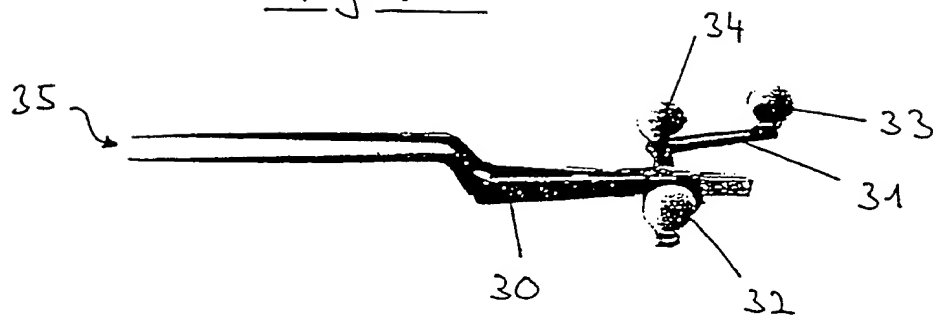


Fig. 3

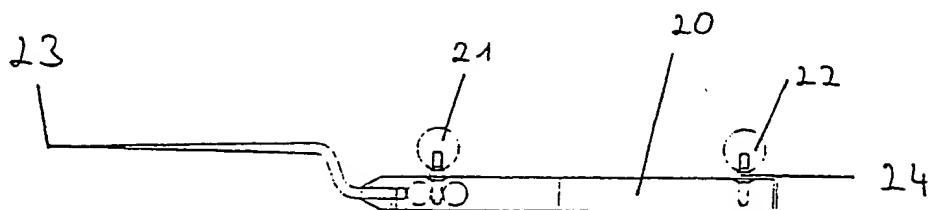


Fig. 4

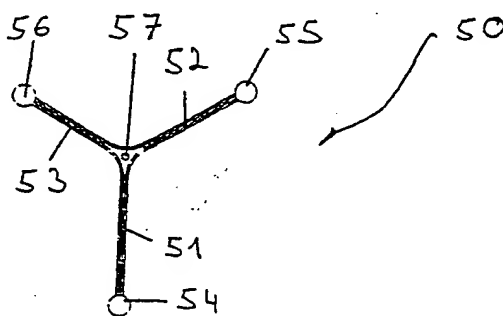


Fig. 5

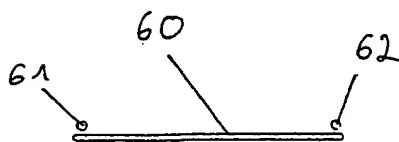


Fig. 6

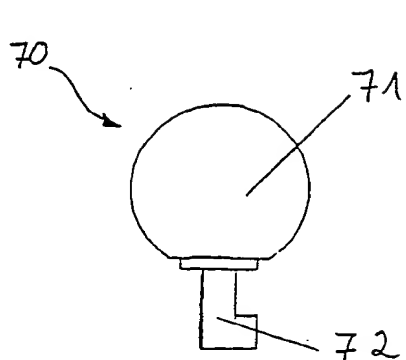


Fig. 7

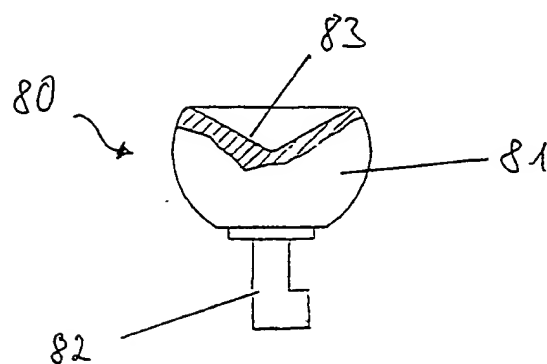


Fig. 8

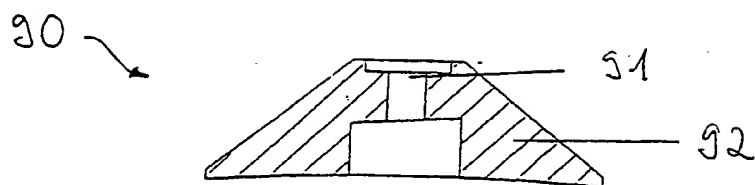


Fig. 9

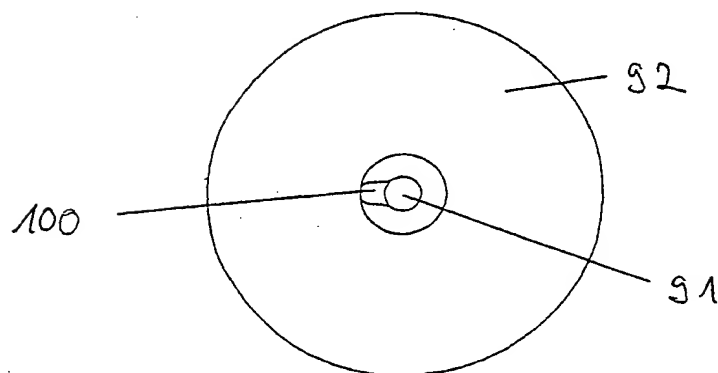


Fig. 10